

阻抗计算说明

Rev0.0

heroedit@hotmail.com

- 给初学者的

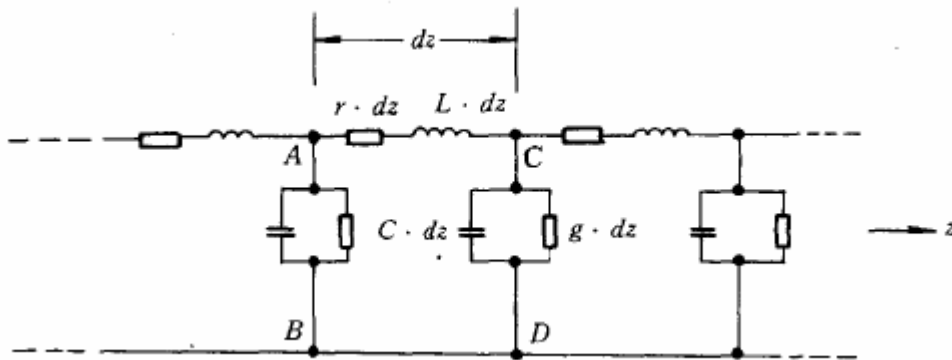
一直有很多人问我阻抗怎么计算的. 人家问多了,我想给大家整理个材料,于已于人都是个方便.如果大家还有什么问题或者文档有什么错误,欢迎讨论与指教!

在计算阻抗之前,我想很有必要理解这儿阻抗的意义

- 传输线阻抗的由来以及意义

传输线阻抗是从电报方程推导出来(具体可以查询微波理论)

如下图,其为平行双导线的分布参数等效电路:



从此图可以推导出电报方程

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial z} + \left(r + L \frac{\partial}{\partial t} \right) i = 0 \\ \frac{\partial i}{\partial z} + \left(g + C \frac{\partial}{\partial t} \right) u = 0 \end{cases}$$

取传输线上的电压电流的正弦形式

$$u(z,t) = U(z)e^{j\omega t}$$

$$i(z,t) = I(z)e^{j\omega t}$$

得

$$\frac{dI}{dz} = - (g + j\omega C)U$$

$$\frac{dU}{dz} = - (r + j\omega L)I$$

推出通解

$$U(z) = a_1 e^{-\gamma z} + b_1 e^{\gamma z}$$

$$I(z) = \frac{a_1}{Z_0} e^{-\gamma z} - \frac{b_1}{Z_0} e^{\gamma z}$$

定义出特性阻抗

$$Z_0 = \sqrt{\frac{r + j\omega L}{g + j\omega C}}$$

无耗线下 $r=0, g=0$ 得

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

注意,此特性阻抗和波阻抗的概念上的差异(具体查看平面波的波阻抗定义)

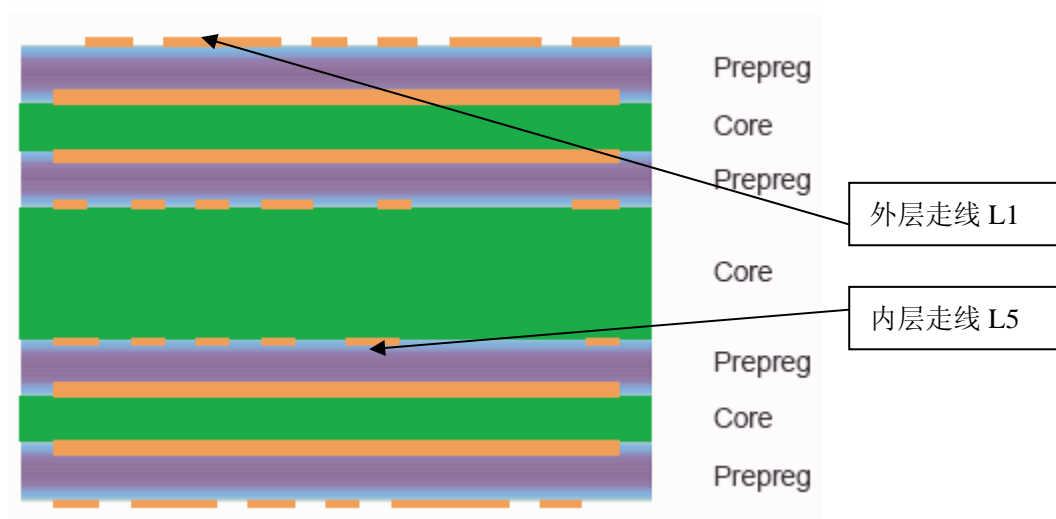
$$Z_{EH} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

特性阻抗与波阻抗之间关系可从 $LC = \epsilon\mu$ 此关系式推出.

Ok,理解特性阻抗理论上是怎么回事,看看实际上的意义,当电压电流在传输线传播的时候,如果特性阻抗不一致所求出的电报方程的解不一致,就造成所谓的反射现象等等.在信号完整性领域里,比如反射,串扰,电源平面切割等问题都可以归类为阻抗不连续问题,因此匹配的重要性在此展现出来.

● 叠层(stackup)的定义

我们来看如下一种 stackup,主板常用的 8 层板(4 层 power/ground 以及 4 层走线层,sggssggs,分别定义为 L1, L2...L8)因此要计算的阻抗为 L1,L4,L5,L8



下面熟悉下在叠层里面的一些基本概念,和厂家打交道经常会使用的

Oz 的概念

Oz 本来是重量的单位 **Oz(盎司) = 28.3 g(克)**

在叠层里面是这么定义的,在一平方英尺的面积上铺一盎司的铜的厚度为 1Oz,对

应的单位如下

	Oz/ft ²	1/4	1/2	1	2	3	4
Copper Plating	Thickness (mil)	0.36	0.7	1.4	2.8	4.2	5.6

介电常数(DK)的概念

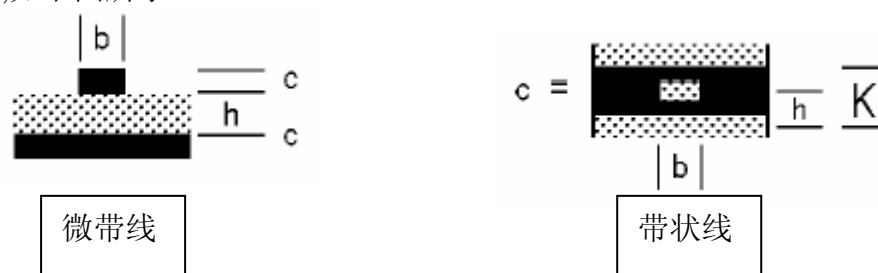
电容器极板间有电介质存在时的电容量 C_x 与同样形状和尺寸的真空电容量 C_o 之比为介电常数： $\epsilon = C_x / C_o = \epsilon' - \epsilon''$

Prepreg/Core 的概念

pp 是种介质材料,由玻璃纤维和环氧树脂组成,core 其实也是 pp 类型介质,只不过他两面都覆有铜箔,而 pp 没有.

● 传输线特性阻抗的计算

首先,我们来看下传输线的基本类型,在计算阻抗的时候通常有如下类型: 微带线 和 带状线,对于他们的区分,最简单的理解是,微带线只有 1 个参考地,而带状线有 2 个参考地,如下图所示



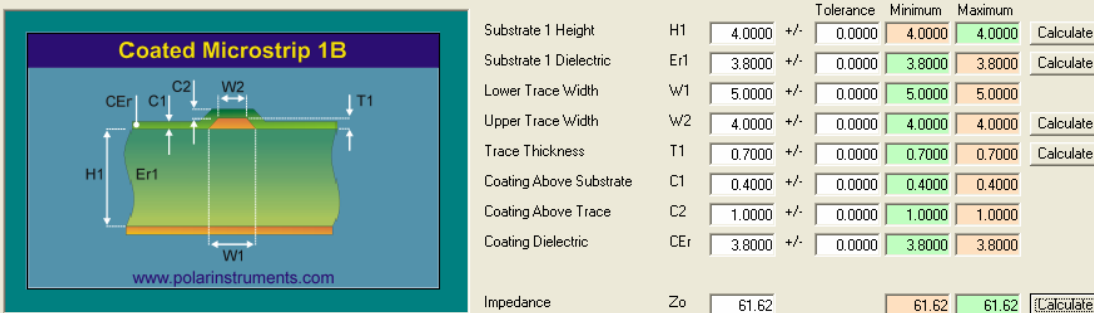
对照上面常用的 8 层主板,只有 top 和 bottom 走线层才是微带线类型,其他的走线层都是带状线类型

在计算传输线特性阻抗的时候, 主板阻抗要求基本上是:单线阻抗要求 55 或者 60Ohm,差分线阻抗要求是 70~110Ohm,厚度要求一般是 1~2mm,根据板厚要求来分层得到各厚度高度.

在此假设板厚为 1.6mm,也就是 63mil 左右, 单端阻抗要求 60Ohm,差分阻抗要求 100Ohm,我们假设以如下的叠层来走线

TOP		1.2 OZ	(Outer layer+Plating)
	Prepreg 4 mil		
L2		1 OZ	(GND)
	CORE .005"		
L3		1 OZ	(SIGNAL)
	Prepreg 15 Mil		
L4		1 OZ	(VCC)
	CORE .005"		
L5		1 OZ	(SIGNAL)
	Prepreg 15 Mil		
L6		1 OZ	(SIGNAL)
	CORE .005"		
L7		1 OZ	(GND)
	Prepreg 4 mil		
BOTTOM		1.2 OZ	(Outer layer+Plating)

先来计算微带线的特性阻抗,由于 top 层和 bottom 层对称,只需要计算 top 层阻抗就好的,采用 polar si6000,对应的计算图形如下:



Coated Microstrip 1B

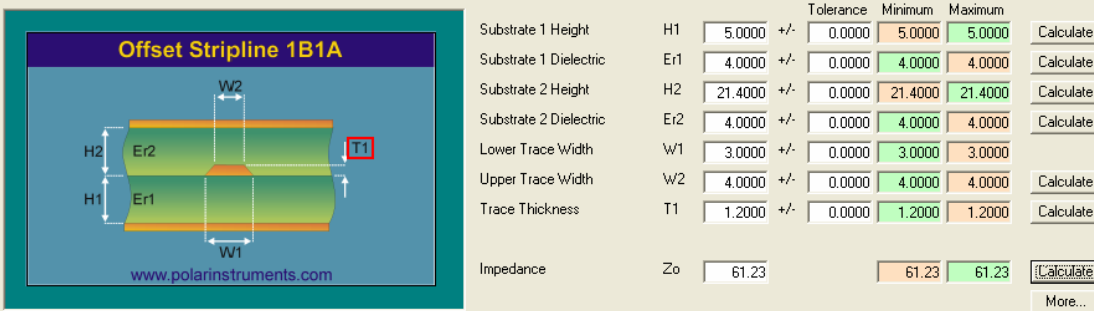
Diagram labels: CEr, C1, C2, W2, T1, H1, Er1, W1

			Tolerance	Minimum	Maximum	
Substrate 1 Height	H1	4.0000	+/- 0.0000	4.0000	4.0000	Calculate
Substrate 1 Dielectric	Er1	3.8000	+/- 0.0000	3.8000	3.8000	Calculate
Lower Trace Width	W1	5.0000	+/- 0.0000	5.0000	5.0000	
Upper Trace Width	W2	4.0000	+/- 0.0000	4.0000	4.0000	Calculate
Trace Thickness	T1	0.7000	+/- 0.0000	0.7000	0.7000	Calculate
Coating Above Substrate	C1	0.4000	+/- 0.0000	0.4000	0.4000	
Coating Above Trace	C2	1.0000	+/- 0.0000	1.0000	1.0000	
Coating Dielectric	CEr	3.8000	+/- 0.0000	3.8000	3.8000	
Impedance	Zo	61.62		61.62	61.62	[Calculate]

在计算的时候注意的是:

- 1,你所需要的是通过走线阻抗要求来计算出线宽 **W**(目标)
- 2,各厂家的制程能力不一致,因此计算方法不一样,需要和厂家进行确认
- 3,表层采用 coated microstrip 计算的原因是,厂家会有覆绿漆,因而没用 surface microstrip 计算,但是也有厂家采用 surface microstrip 来计算的,它是经过校准的
- 4,w1 和 w2 不一样的原因在于 pcb 板制造过程中是从上到下而腐蚀,因此腐蚀出来有梯形的感觉(当然不完全是)
- 5,在此没计算出精确的 60Ohm 阻抗,原因是实际制程的时候厂家会稍微改变参数,没必要那么精确,在 1,2ohm 范围之内我是觉得没问题
- 6,h/t 参数对应你可以参照叠层来看

再计算出 L5 的特性阻抗如下图



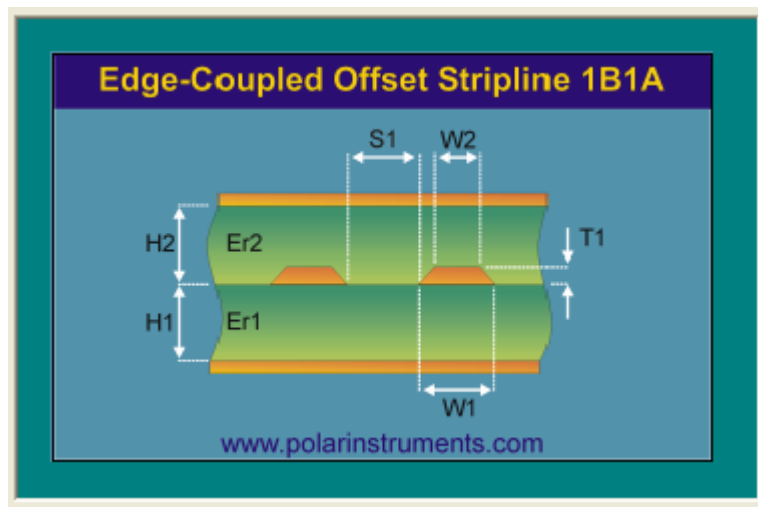
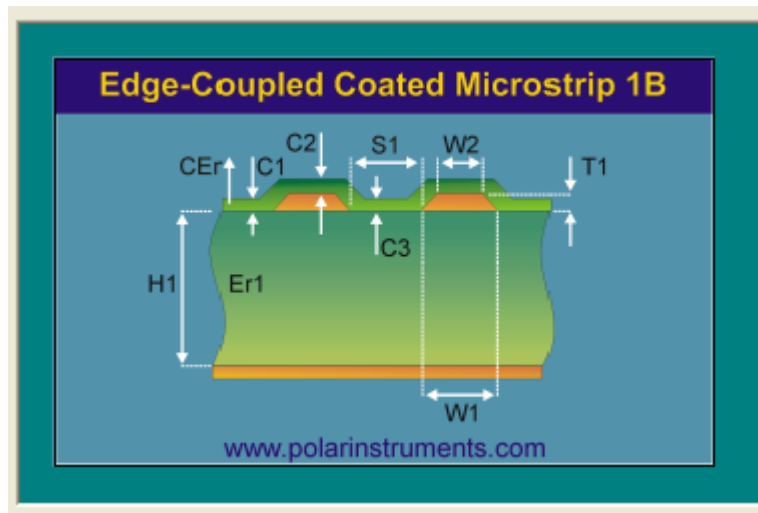
Offset Stripline 1B1A

Diagram labels: W2, T1, H2, Er2, H1, Er1, W1

			Tolerance	Minimum	Maximum	
Substrate 1 Height	H1	5.0000	+/- 0.0000	5.0000	5.0000	Calculate
Substrate 1 Dielectric	Er1	4.0000	+/- 0.0000	4.0000	4.0000	Calculate
Substrate 2 Height	H2	21.4000	+/- 0.0000	21.4000	21.4000	Calculate
Substrate 2 Dielectric	Er2	4.0000	+/- 0.0000	4.0000	4.0000	Calculate
Lower Trace Width	W1	3.0000	+/- 0.0000	3.0000	3.0000	
Upper Trace Width	W2	4.0000	+/- 0.0000	4.0000	4.0000	Calculate
Trace Thickness	T1	1.2000	+/- 0.0000	1.2000	1.2000	Calculate
Impedance	Zo	61.23		61.23	61.23	[Calculate]

记得当初有各版本对于 stripline 还有 symmetrical stripline 的计算图,实际上的差异从字面来理解就是 symmetrical stripline 其实是 offset stripline 的特例 $H1=H2$

在计算差分阻抗的时候和上面计算类似,除所需要的通过走线阻抗要求来计算出线宽的目标除线宽还有线距,在此不列出
选用的图是



在计算差分阻抗注意的是:

1,在满足 DDR2 clock 850hm~1394 1100hm 差分阻抗的同时又满足其单端阻抗,因此我通常选择的是先满足差分阻抗(很多是电流模式取电压的)再考虑单端阻抗(通常板厂是不考虑的,实际做很多板子,问题确实不算大,看样子差分线还是走线同层同 via 同间距要求一定要符合)

-----谨以此文怀念初学 SI 的艰苦岁月

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>